

분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향

The Effects of Cobalt on Wear and Friction Characteristics of PM-HSS

이 한 영 , 백 금 주 , 김 용 진* , 배 종 수* , 홍 성 현*

계명대학교 재료공학과 , * 한국기계연구원 재료공정연구부

ABSTRACT The mechanical characteristics of the high speed steel by powder metallurgy process(PM-HSS) has been reported to improve with several alloying constituents, such as high carbon, vanadium and cobalt.

In this paper, sliding wear test has been conducted using a pin-on-disc machine for three PM-HSS which contains 0%, 5% and 12% cobalt respectively, in order to evaluate the effect of cobalt on wear properties of PM-HSS.

The results of this study showed that the wear resistance of PM-HSS has been increased by the addition of cobalt on the range of experimental friction velocities. When compared with the effect of addition of cobalt, the wear resistance of PM-HSS with 5% cobalt has been found to be superior to that of PM-HSS with 12% cobalt.

1. 서 론

고속도공구강은 현재 여러 종류의 가공용 공구와 금형 등의 각종 산업부품의 소재로 널리 사용되고 있다.

이러한 고속도공구강은 일반적으로 주조법으로 제작하고 있으나 이때 조직상에는 탄화물의 편석이 발생하고 크기가 불균일할 뿐만 아니라 방향성도 나타내어 열처리시 변형량증대를 초래하는 원인으로 작용하고 있다.^{1)~3)} 그러나 고속도공구강의 각종 특성은 이러한 탄화물의 형태와 분포에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

최근은 이러한 고속도공구강을 분말야금기술을 응용하여 제조하는 공정이 개발되어 전술한 단점의 개선은 물론 합금원소의 조정도 용이하고 첨가량의 제한도 없어 새로운 특성의 소재개발도 활발히 이루어지고 있다.^{1)~13)}

현재 새로운 분말고속도공구강의 개발은

주로 V과 Co의 조정에 의해 이루어지고 있으나 대부분이 V의 영향에 대한 연구가 주종이고 Co의 경우는 소수인 것으로 밝혀졌다. 이러한 이유에서 실용화된 소재에서 Co의 첨가량의 범위가 매우 넓은 것으로 확인되었다.¹⁾ 이것은 Co가 고가인 관계도 생각할 수 있으나 그 영향이 불명확하기 때문인 것으로 추측된다.

또한 대부분의 분말고속도공구강에 대한 연구결과에서는 여러 특성과 함께 내구성 측면에서 주요한 인자인 내마모성의 평가를 필히 포함하고 있으나 이들 마모특성평가시험이 대부분 특정속도와 특정하중에서 상대비교를 하고 일부연구에서는 세라믹스 재료를 상대재로 채용하고 있는 것으로 밝혀졌다.^{2)~13)} 그러나 재료의 마모특성은 상대재의 종류, 마찰속도, 하중 등의 여러 인자에 의해 변화¹⁴⁾할 수 있다는 사실을 고려해야 한다.

이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는

기존의 M2 고속도공구강에 V를 5%첨가하고 Co함유량을 0%, 5%, 12%로 변화시킨 3 종류의 분말고속도공구강을 제작한 뒤 일 반구조법으로 제작한 공구강을 상대재로 하여 각각의 마모특성을 평가하고 내마모 성에 미치는 Co의 영향을 조사하였다.

2. 시험방법

2-1 시편제작

본 연구에서는 기존의 M2고속도공구강의 성분분말에 탄화물 생성원소인 V를 5% 첨가하고 기지강화원소로 알려진 Co를 0%, 5%, 12%로 각각 변화시켜 진공소결 및 용해후 Gas atomization에 의해 합금분말을 제조하였다. 그 뒤 각각 Canning, Hipping, Swaging공정을 거쳐 $\phi 7.5\text{mm}$ 봉재로 제조하고 Annealing을 하였다.⁴⁾ 그 뒤 소정의 시편형상($\phi 4 \times 17\text{mm}$)으로 가공한 후 $850^\circ\text{C} \times 30\text{분}$, $1170^\circ\text{C} \times 10\text{분}$ 으로 단계별 가열하고 소입한 후 550°C 에서 1시간 유지한 뒤 공랭하는 템퍼링처리를 3차례 반복하였다.

상대재는 주조법으로 제작한 Mo계고속도 공구강인 M2와 Cr계고속도공구강인 H13의 2종류를 소정의 형태($\phi 65 \times 10\text{mm}$)로 가공한 뒤 각각 열처리하였다.

이때 Rockwell경도는 0%Co시편(이하 0Co)이 62.1, 5%Co시편(이하 5Co)이 66.2, 12% Co시편(이하 12Co)이 67.1이고 상대재인 M2는 61.5, H13은 56.0정도임이 확인되었다.

Table 1 Composition of testpiece

	C	Cr	Mo	W	V	Co
0Co	1.84	4.3	4.9	6.0	5.19	-
5Co	1.70	4.3	4.9	6.0	5.13	5.29
12Co	1.93	4.3	4.9	6.0	4.48	11.90

시편의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2-2 마모특성시험

마모특성시험은 Pin-on-Disc형 미끄럼 마찰마모시험기를 사용하였다.

이때 하중은 580g으로 하였고 속도는 2m/sec~8m/sec까지 7속도를 선정하였다.

마모시험시 마찰거리는 6.0km까지로 하고 각 속도조건에서 2~5번의 실험을 하여 각각의 마모율을 산출한 후 평균값을 사용하였다. 마모량산출은 소정의 마찰거리마다 시편의 중량감소로 측정하였다.

상대재는 주로 M2재를 사용하였고 H13은 상대재의 경도변화에 따른 마모특성변화를 조사하기 위해 사용하였다.

시편 및 상대재는 시험전에 400# Abrasive Paper로 연마하여 조도를 일정하게 한 뒤 시험에 착수하였으며 마모시험은 건조상태에서 대기중에서 행하였다.

마찰계수측정은 Torque미터를 이용하여 마모시험시 0~0.2km, 1.0~1.5km, 4.5~6.0km의 3영역에서 마모시험과 동시에 계측하였다.

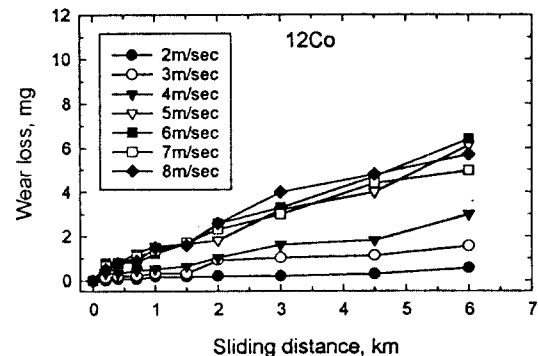


Fig.1 Wear characteristics for distance of 12Co at various sliding speed (M2)

3. 실험결과 및 고찰

3-1 마모특성평가

Fig.1 는 12Co시편에 대해 마찰거리에 따른 마모량의 변화를 나타낸 것이다.

어느 속도에서도 거리에 따라 대부분 직선적으로 마모량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 0Co 및 5Co의 경우도 동일하였다.

마찰거리에 따른 마모량의 관계에서 초기 마모영역과 정상마모영역의 구분은 직선의 상관계수의 변화 및 초기마모영역의 마모율 계산정도를 고려하여 일괄적으로 0.4km 까지를 초기마모영역으로 하고 이후를 정상마모영역으로 취하였다.

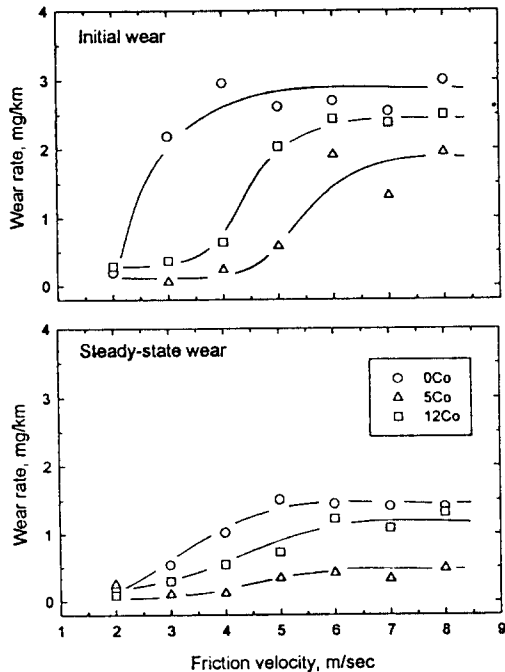


Fig.2 Wear characteristics for sliding speed (M2)

Fig.2은 Co함유량이 다른 3종류의 시편에 대해 마찰속도에 따른 초기마모영역과 정상마모영역에서의 마모율을 비교한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 이들 변화는 어느 것도 속도증가에 따라 마모율이 급증하고 일정속도이후에 마모율이 거의 일정해지는 형태를 보이며 전반적으로 초기마모영역의 마모율이 정상마모영역의 마모율에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 2m/sec에서는 Co의 영향을 거의 볼 수 없으나 그 이상의 속도에서는 내마모성의 향상을 보이고 있다. 특히 초기마모영역의 3m/sec 및 4m/sec에서는 현저하고 마모율이 급증하는 속도도 Co첨가에 의해 고속도측으로 이동하나 그 중 5Co의 것이 가장 고속도측에 있고 마모율도 가장 적어 3종류의 시편중에 가장 내마모성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

이러한 결과는 Co의 첨가가 내마모성향상에 기여한다는 사실을 나타내고 있으나 Co에 의한 내마모성향상에 대한 최적의 Co함유량의 존재사실도 시사하는 현상으로 생각된다. 그러나 5Co의 마모율이 정상마모영역에서 최대 약 0.5mg/km 정도인 점을 생각하면 최적의 Co함유량은 거의 이 조성부근인 것이 분명하다.

Fig.3은 0Co 및 5Co의 마찰속도 2m/sec, 7m/sec에서 시험한 시편의 마모면의 사진을 나타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 저속도측의 0Co를 제외하면 대부분 마모면에 유색의 화합물이 관찰됨을 알 수 있다. 또한 0Co의 경우는 회색의 화합물만이 관찰되나 5Co에서는 회색 및 흑색의 화합물이 관찰되고 있다. 이들 화합물중 흑색화합물은 속도증가에 의해 감소하나 회색화합물은 증가하고 있다. 12Co의 경우도 5Co의 경우와 동일하

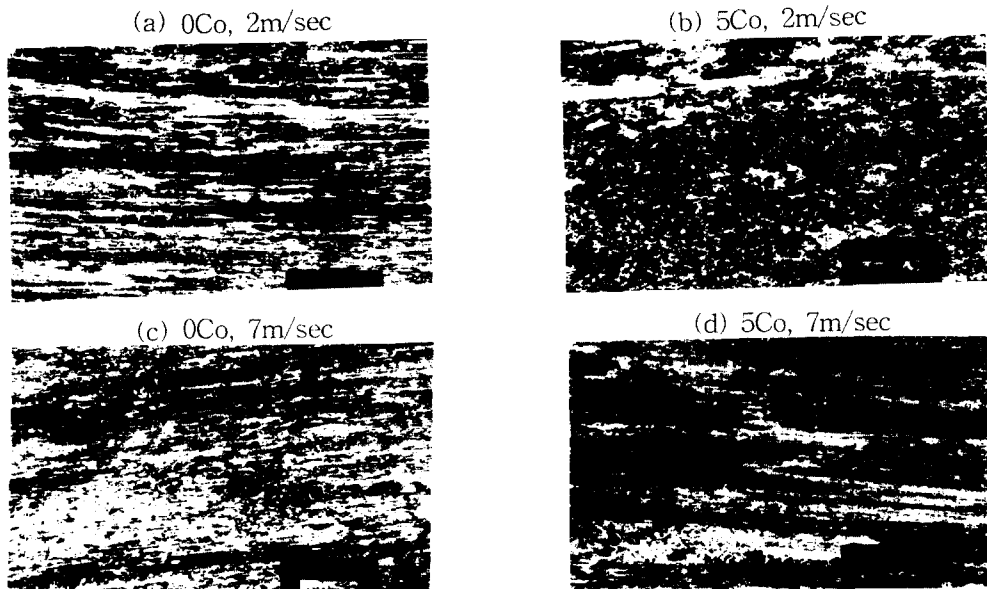


Fig.3 Morphology of worn surface (M2)

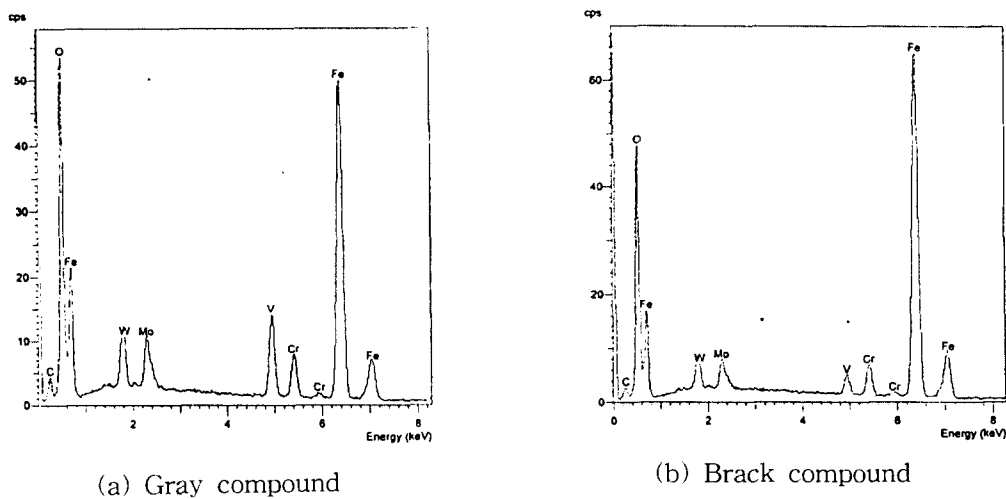


Fig.4 Results of EPMA (5Co, 4m/sec)

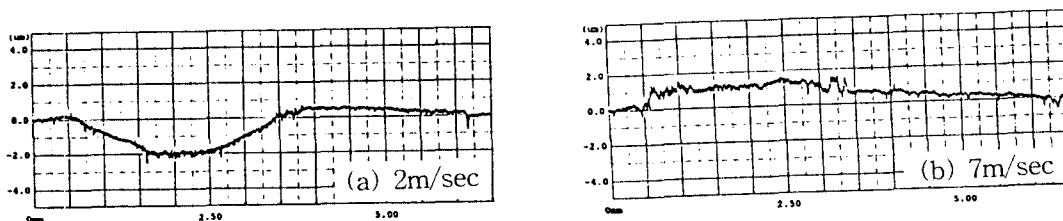


Fig.5 Profile of worn surface (M2 Opponent material)

였으나 상대재의 경우는 Co첨가와 관계없이 회색의 화합물만이 관찰되었다.

Fig. 4는 5Co를 4m/sec에서 시험하였을 때 시편에서 관찰된 회색 및 흑색의 화합물을 EPMA로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 어느 것도 산소가 관찰되어 이들 화합물은 산화물임을 알 수 있다. 시편에서 관찰된 회색의 산화물의 경우는 V이 다량으로 관찰되는 것으로 미루어 MC탄화물을 다량으로 포함한 기지의 산화물인 것으로 추측되고 흑색의 산화물은 V이 적어 기지의 산화물인 것으로 추측되어 진다. 상대재에서 관찰된 회색의 산화물에서는 V이 상대재의 조성비에 비해 상대적으로 크며 첨가되지 않은 합금원소인 Co도 확인이 되어 시편에서 이차된 산화물인 것으로 추측되었다.

일반적으로 Co는 Austenite의 안정화원소로 알려져 있다. 이것은 결국 Co첨가에 의해 Matrix의 탄소함유량을 증대시키게 된다. 이러한 사실에서 Co첨가 시편의 저속시험시 관찰된 흑색의 산화물은 마모에 의해 생성된 신생면이 산소와 용이하게 반응을 일으켜 기지의 산화물을 형성하는 것으로 사료된다. 그러나 5Co에 비해 12Co가 마모율이 큰 이유에 대해서는 불명확하나 마찰면에 산화물이 생성된 상태에서의 마모입자형성은 시편이나 상대재의 내부전단에 의해 일어난다는 사실을 고려하면 5Co의 전단강도가 12Co보다 크기 때문으로 추측된다. 이러한 사실은 5Co와 12Co의 TRS의 비교결과⁴⁾에서 추측할 수 있다.

고속시에 증가하는 회색산화물은 온도상승시에 발생하는 고온산화물로 예상된다. 이것은 속도증가에 따라 온도상승이 커져 시편 및 상대재의 표면층이 산화되고 아울러 전단강도의 저하를 초래하게 된다. 결국

표면은 산화물간의 접촉이므로 응착강도가 커져 재료의 내부에서 전단이 일어나 마모를 발생하게 될 것이다. 본 연구에서는 마모면의 온도를 측정하지 않았으나 시험편 및 상대재의 형상을 고려하면 시험편의 온도상승의 정도가 상대재보다 클 것으로 예상되므로 상대재의 마모는 적어지고 대부분 시험편의 내부전단에 의해 마모가 발생하는 것으로 추측되어 진다.

Fig.5는 12Co시편의 저속 및 고속영역에서 마모시험후 상대재의 마모track면을 표면조도계를 이용하여 미끄럼방향에 수직으로 측정된 단면곡선을 나타낸 것이다.

2m/sec의 경우는 명확한 마모면의 groove가 관찰되고 있음을 알 수 있으나 고속도영역에서는 거의 groove가 없음을 알 수 있다. 이러한 경향은 다른 시편의 경우에도 동일한 경향인 것으로 확인되었다.

이러한 사실로 미루어 저속시는 전단강도가 적은 상대재측에서 마모가 발생하고 고속시는 시편의 온도상승으로 인한 전단강도의 저하폭이 커져 시편측에서 마모가 발생하는 것을 알 수 있다.

3-2 상대재변화에 따른 마모특성변화

상대재의 경도변화에 대한 마모특성을 비교하기 위하여 상대재를 H13으로 하여 0Co 및 12Co에 대해 동일한 조건에서 시험하였다.

이 경우도 거리에 따른 마모량의 변화는 M2상대재의 경우와 마찬가지로 거리에 대해 거의 직선적으로 증가하는 변화를 나타내었다.

Fig. 6은 각속도에 따른 초기마모영역 및 정상마모영역에서의 각각의 마모율을 비교

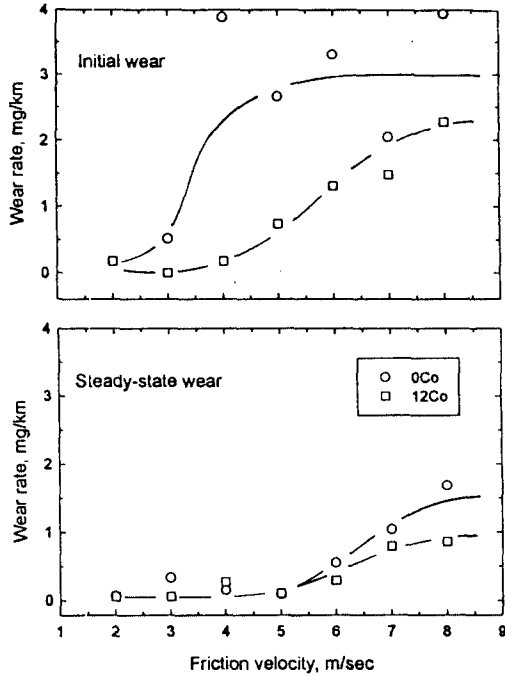


Fig.6 Wear characteristics for sliding speed (H13)

한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 M2상대재의 결과와 유사한 경향이나 마모율이 급증하는 속도가 고속측으로 이동한 형태임을 알 수 있다.

또한 그림에서 8m/sec의 마모율이 M2상대재의 마모율과 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 M2상대재의 경우와 마찬가지로 고속시에는 온도상승으로 시편의 전단강도의 저하가 현저한 시편측에서 마모가 발생하기 때문으로 추측된다.

3-3 마찰특성평가

Fig.7은 M2를 상대재로 한 시험시 각 속도에서 측정된 마찰계수를 나타낸 것이다. 초기마모시의 마찰계수는 0~0.2km까지의 전 마찰계수의 평균치이고 정상마모시의

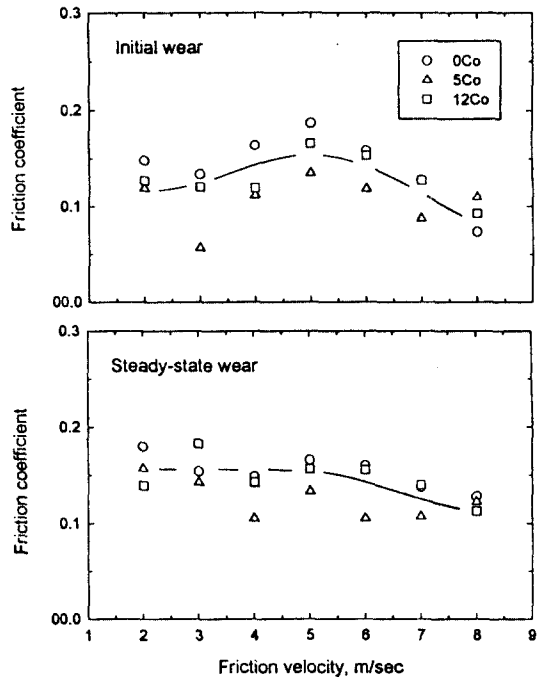


Fig.7 Variation of Friction coefficient for sliding speed (M2)

마찰계수는 1.0~1.5km와 4.5~6.0km에서 측정된 전 마찰계수의 평균치이다.

전반적으로 0Co와 12Co의 마찰계수의 차이는 거의 없으나 5Co의 경우는 마찰계수가 다소 적다는 것을 알 수 있다.

초기마모영역에서의 마찰계수는 저속도에서 일정하다가 5m/sec에서 최대를 보이고 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 저속도에서는 산화물의 발생이 적으므로 응착이 발생하나 전단부위가 상대적이므로 거의 일정하다가 5m/sec에서 어느 정도 산화물이 발생하고 시편의 온도상승으로 시편의 내부전단으로 천이되면서 마찰계수가 상승하는 것으로 추측된다. 그 후는 온도상승에 따라 마찰계수가 감소하고 있다.

정상마모영역에서는 충분한 마찰시간에 의해 이미 상당량의 산화물발생으로 거의 일정하다가 온도상승에 따라 마찰계수가 감소

하는 것으로 생각된다. 또한 이 영역의 저속도에서 초기마모영역의 마찰계수에 비해 큰 것으로 밝혀졌으나 이것은 충분한 마찰 시간에 의해 진접촉면적의 증대로 응착부위가 커졌기 때문으로 생각된다.

이와 같은 상황을 고려하면 5Co의 마찰계수가 가장 적은 것은 전술한 대로 산화물 형성과 높은 전단강도에 의한 것으로 생각된다.

H13를 상대재로 한 시험시 각 속도에서 측정된 마찰계수의 결과에서도 거의 유사한 형태임이 확인되었다. 그러나 저속도 영역에서는 M2의 마찰계수보다 적고 고속도 시에는 거의 유사한 것으로 밝혀졌다.

4. 결 론

분말 고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Co는 분말 고속도공구강의 내마모성을 현저히 향상시킨다. 이러한 효과는 산화물 생성을 촉진하고 기지를 강화하는 작용에 의한 것으로 밝혀졌다.
- (2) Co첨가 분말 고속도공구강의 내마모성은 기지와 상대재의 전단강도 크기의 대소에 의존한다.
- (3) 내마모성을 최대로 하는 Co의 적정첨가량이 존재하며 그 조성범위는 전단강도를 최대로 하는 범위인 것으로 밝혀졌다.
- (4) Co는 분말 고속도공구강의 마찰계수를 감소시킨다.

5. 참고문헌

- 1) ASM international handbook Committee: "Metal Handbook", Vol.1,(1990)780
- 2) R. W. Bratt : Metal Powder Report, 9(1983)475
- 3) K.Ishii, T.Hayasaka, E.Endoh, T.Abe, Y.Kamitsuma : Metal Powder Report, 6 (1986)533
- 4) 김용진, 배종수, 정현식 : 1996년도 대한금속학회학술강연발표개요집 (1996)341
- 5) 이은식, 박우진, 정재영, 안상호 : 대한금속학회지 35,6(1997)784
- 6) R.A.Queeney, R.E.Maters, R.J.Beltz, J. D.Dankoff : Mordern Developments in PM, Princeton, 20(1988)409
- 7) M. Hirano, N. Kawai : Metal Powder Report, 7(1986)527
- 8) R.A.Queeney, R.J.Beltz, J.D.Dankoff : 90 World Confer, on PM, 2(1990)107
- 9) J.D.Bolton, Andrew J.GAnt : Adv. in Powder Metallurgy and Particlate Materials, Vol 5(1996)16-3
- 10) W. stasko, K.E.Pinnow, W.B.Eisen : Adv. in Powder Metallurgy and Particlate Materials, Vol 5 (1996)17-179
- 11) Navin C. Kothari : Pro. 2nd Pacific Rim Inter. Confer. (1995)511
- 12) 笹田 直 : 日本潤滑學會 第5回磨耗シンポジウム, (1973)21
- 13) 예를들어 佐田登志夫 : 日本潤滑學會 第7回夏期セミナー 講義錄, (1972)1
- 14) 葉山房夫 : "金屬合金の磨耗現象の基礎", 丸善 (1987)128